

Adam FREJ<sup>1</sup>

WPLYW BUDOWY GEOLOGICZNEJ NA WIELKOŚĆ AMPLIFIKACJI W REJONIE MIASTA  
BYTOMIA

THE INFLUENCE OF GEOLOGICAL STRUCTURE ON SIZE OF AMPLIFICATION IN  
BYTOM REGION

**Abstract**

This work presents how geology can change amplification factor. We taken to our observation area of city Bytom (Upper Silesia) when occur many vibrations implied by mining tremors. The estimation of amplification factor was realized by HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) method. The results were correlated with geological structure of the Bytom city area. The HVSr technique gives a good results which complete earlier study for this area.

**Key words:** amplification, frequency, spectrum, amplitude

**Wstęp**

W rejonie miasta Bytomia prowadzona jest intensywna eksploatacja górnicza co powoduje częste występowanie drgań gruntu. Wielkość wstrząsów na powierzchni określana jest za pomocą współczynnika amplifikacji. Amplifikację określa się w sposób analityczny bądź pomiarowy, stosując modele jedno-, dwu-, oraz trójwarstwowy (Okamoto, 1984) lub dla metod pomiarowych jednocześnie badania amplitudy drgań na powierzchni oraz na twardym podłożu. Stosunkowo nową metodą analizy wielkości amplifikacji jest metoda HVSr opierająca się na prostych założeniach teoretycznych. (Lachet & Bard, 1994; Konno & Ohmachi, 1998) Metoda ta jest stosunkowo tania oraz prosta w użyciu. Wielkość amplifikacji jest ściśle zależna od budowy geologicznej w miejscu wystąpienia drgań podłoża. Na jej rozmiar ma wpływ rodzaj utworów geologicznych oraz ich stopień zwięzłości.

**Metody badawcze**

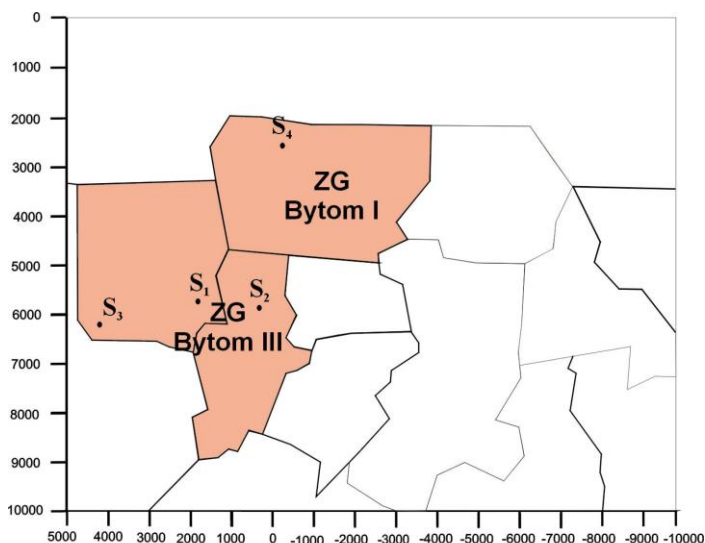
Dane pomiarowe wykorzystane w badaniach zostały pozyskane za pomocą stacjonarnego cyfrowego rejestratora przyspieszeń drgań podłoża. Aparatura pomiarowa prowadzi rejestracje trójskładowych przebiegów drgań i zapisuje je w formie akcelerogramów (Tab 1). Obserwowany zakres częstotliwości mieści się w granicach od około 1-2 Hz do 100-200 Hz (Markowski i inni, 2002). Takiego typu rejestratory znajdują się na czterech stanowiskach pomiarowych w granicach miasta Bytomia. Rejestracje prowadzone były w sposób ciągły od 1997 roku i gromadzone w formie zapisów cyfrowych na połączonym z rejestratorem komputerem.

**Tab.1** Dane wykorzystane w analizie.

L.P.	Stacja rejestrująca	Liczba rejestracji	Współrzędne stacji		
			X	Y	Z
1	S <sub>1</sub>	837	5807	1626	285
2	S <sub>2</sub>	485	5960	4	270
3	S <sub>3</sub>	125	6255	4064	283
4	S <sub>4</sub>	61	2598	- 344	277

Całkowita liczba rejestracji                      1508

<sup>1</sup> Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Stosowanej



**Obszar badań**  
**S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> - stanowiska pomiarowe**

**Rys.1** Rozmieszczenie stacji rejestrujących.

Otrzymane dane poddano obróbce stosując szybką transformację Fouriera (FFT) celem wyznaczenia widm poszczególnych składowych. Określenie wielkości współczynnika amplifikacji dokonano w oparciu o metodę HVSR (Nakamura, 1989, 2000) opierającą się na wyznaczeniu stosunku składowej poziomej widma przyspieszenia drgań gruntu (H) względem składowej pionowej widma przyspieszenia drgań gruntu (V). Przedstawia się on za pomocą następującego ilorazu:

$$\frac{H}{V} = \frac{A_h \cdot G_h}{A_v \cdot G_v} + \frac{R_h}{R_v} \quad (1)$$

gdzie:

$A_h, A_v$  – współczynniki amplifikacji składowej poziomej i pionowej pionowo padającej fali wglębnej,

$G_h, G_v$  – widma składowej poziomej i pionowej przyspieszenia drgań twardego podłoża,

$R_h, R_v$  – widma składowej poziomej i pionowej fali powierzchniowej Rayleigha,

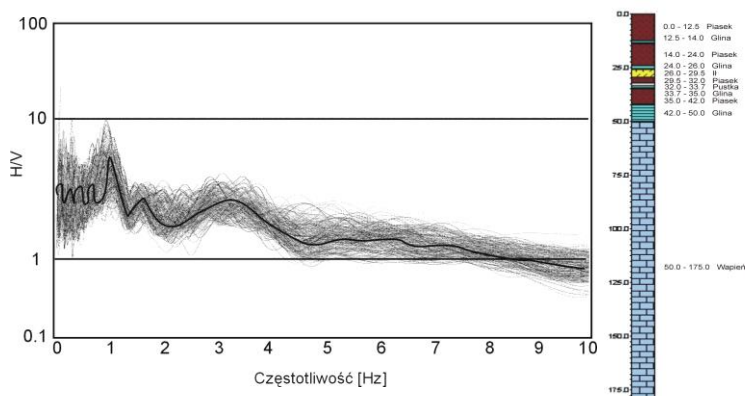
Wykorzystana metoda w przypadku stosowania jej dla analizy wstrząsów indukowanych o niewielkich odległościach epicentralnych charakteryzuje się pewnymi założeniami upraszczającymi proces obliczeniowy. Obserwujemy porównywalną amplitudę składowej poziomej i pionowej widma przyspieszenia drgań twardego podłoża, brak wzmocnienia pionowej składowej w obszarach częstotliwości charakterystycznych dla silnego wzmacniania składowej poziomej oraz bardzo małe wartości energii fali Rayleigha w obrębie częstotliwości gdzie występuje charakterystyczny pik amplifikacji. Określenie wartości współczynnika amplifikacji dokonuje się na podstawie określenia maksimum amplitudy dominującego pik. Częstotliwość w obrębie, której występuje główny pik

odpowiada częstotliwości dominującej warstwy przypowierzchniowej. Zakres analizy mieści się w granicach 2 – 7 Hz co związane jest z rejestracją pewnej ilości zakłócających szumów w obszarach niskich częstotliwości oraz z wykorzystywania w metodzie fali Rayleigha. Fale Rayleigha w obszar powyżej ok. 7 Hz mają coraz większe energie co powoduje, iż założenia metody nie sprawdzają się w tych obszarach częstotliwości, w związku z tym obszar powyżej tej granicy nie nadaje się to analizy wstrząsów indukowanych rejestrowanych w małych odległościach epicentralnych (Tsuboi i in. 2001).

## Wyniki

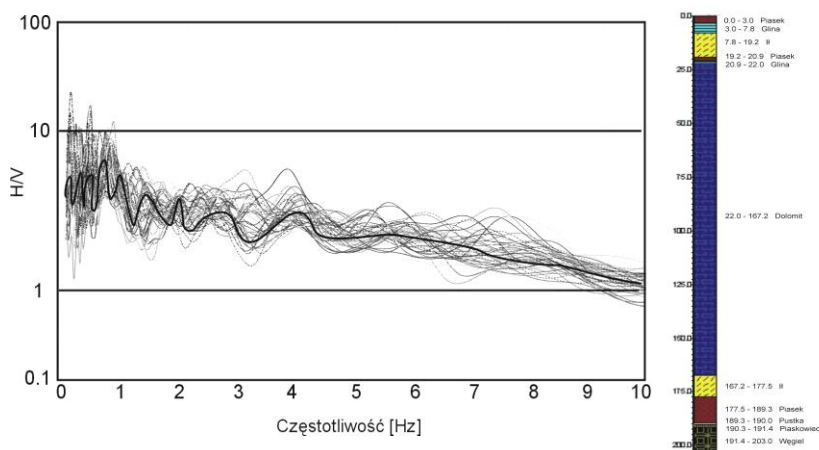
Analizując otrzymane przebiegi zależności H/V względem częstotliwości dla poszczególnych stanowisk rejestracyjnych określono, iż przyjmują one charakter liniowy. W obrębie poszczególnych stacji zależności mają zbliżony charakter odzwierciedlający warunki lokalne. Analizowany zakres stosunku H/V mieścił się w granicach od 2 Hz do 7 Hz. Relacje poniżej 2 Hz są bardzo zaburzone i nie sposób wyznaczyć w tym obszarze jakiejś dominującej zależności. Związane jest to z występowaniem innych zjawisk towarzyszących, które mają charakter zakłócający i są rejestrowane w paśmie niskich częstotliwości. Natomiast analiza powyżej 7 Hz nie przynosi żadnych rezultatów gdyż w tym obszarze zależność przybiera jednolity charakter co uniemożliwia określenie jakiegokolwiek maksimum. Dodatkowo jest to obszar gdzie coraz większy wpływ ma rosnąca energia fali Rayleigha. Wszystkie określone relacje H/V skorelowano z budową geologiczną określoną w rejonie posadowienia stacji rejestrujących.

W zależności prezentującej iloraz H/V względem częstotliwości dla stacji S<sub>1</sub> (Rys. 2) uwidacznia się maksimum w okolicach częstotliwości równej 3.4 Hz. W określeniu maksimum posłużyła średnia zależności H/V (pogrubiona linia) wyznaczona w oparciu o medianę z wszystkich danych w tym miejscu rejestracji. Procedur wyznaczenia średniej zależności powtórzono dla wszystkich stanowisk. Wielkość maksimum dla tej stacji oszacowano na poziomie 3.5 przyjmując szczytową wartość średniej zależności H/V. Wyznaczony parametr informuje o wielkości wzmocnienia drgań gruntu, która w tym wypadku jest trzysta pięćdziesiąt razy większa. Wielkość amplifikacji skorelowano z budową geologiczną przedstawioną w formie profilu. Profil geologiczny sięga do głębokości 175 metrów gdzie zaobserwowana spąg wapieni miąższach na 125 metrów. Powyżej warstw wapieni zaobserwowano na przemian ległe piaski i gliny, których miąższość waha się od 2 do 10 metrów. Jedynie na głębokości 26 metrów pod poziomem terenu występuje miąższe na 2 metry warstwa iłu. Te różnorodne utwory czwartorzędowe o miąższości 50 m wskazują, na powód wzrostu wielkości amplitudy drgań wywołanych wstrząsami górnicyzmi.



**Rys.2** Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S<sub>1</sub>.

Rozpatrując zależność H/V wyznaczoną dla stanowiska S<sub>2</sub> (Rys. 3) zauważono, iż w tym wypadku przebieg jest bardziej zaburzony co jednak nie przeszkadzało w określeniu średniej. Na podstawie wyznaczonej średniej określono występowanie dwóch maksimów w okolicach częstotliwości 2.8 Hz oraz 4.2 Hz. Częstotliwości przy których wystąpiły analizowane piki są dla tego rejonu częstotliwościami rezonansowymi warstwy przypowierzchniowej. Występowanie więcej niż jednego maksimum świadczy o skomplikowanej budowie geologicznej warstwy czwartorzędu co zostało potwierdzone przy analizie przekroju geologicznego w okolicach miejsca rejestracji. Budowa geologiczna w miejscu rejestracji charakteryzuje się dużą różnorodnością warstw geologicznych zarówno czwartorzędu jak i triasu. Czwartorzęd reprezentowany jest przez piaski o miąższości 3 m, gliny o miąższości 4,8 m, iły – 11,4 m oraz ponownie piaski – 1,7 m, i gliny 1,1 m. Trias uwidocznia się w postaci dolomitów o miąższości 145,2 m, ilów - 10,3 m, piasków 11.8 m oraz piaskowca 1.1 m. Poniżej występują utwory karbonu w tym wypadku obserwowane jako pokłady węgla kamiennego. Wielkość amplifikacji w tym miejscu oszacowano na poziomie 3 odczytując wartość z maksimum wyznaczonych pików i jest ona ściśle związana z utworami czwartorzędowymi sięgającymi w tym miejscu do głębokości 22 m.

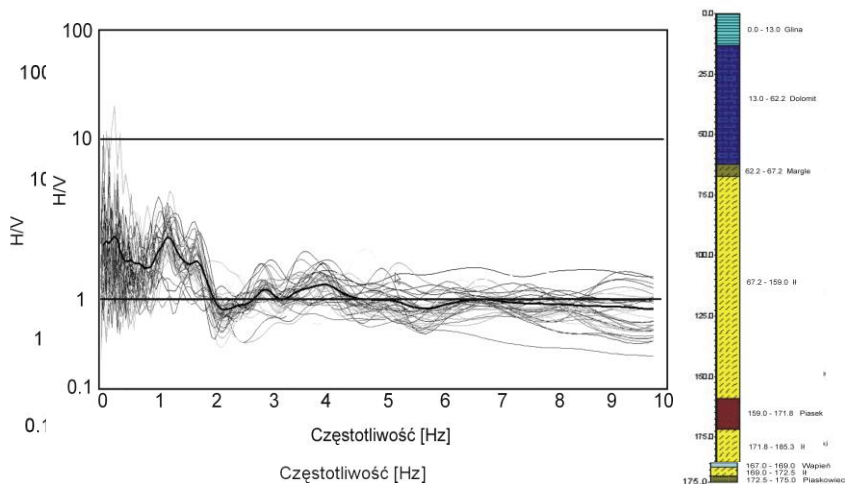


**Rys.3** Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S<sub>2</sub>.

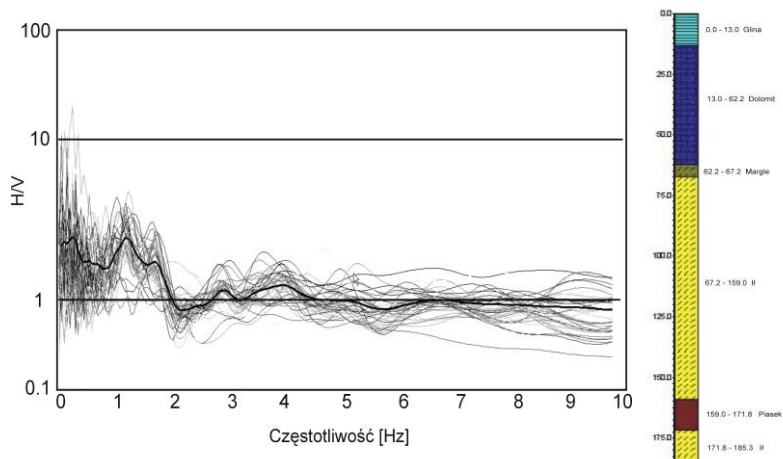
Analiza zależności H/V od częstotliwości dla stanowiska S<sub>3</sub> (Rys. 4) wykazała, iż występuje tu jeden główny pik amplifikacji zlokalizowany w okolicach częstotliwości 3 Hz. Wielkość tego piku określona została na poziomie 2 co mówi nam o dwukrotnym wzmocnieniu drgań w tym obszarze. Poziom wzmocnienia amplitudy drgań jest związany z występowaniem tu glin (0,0 – 12,5 m p.p.t ; 14,7 – 17,0 m p.p.t), piasków (12,5 - 14,7 m p.p.t ; 17,0 – 18,6 m p.p.t), oraz ilów (18,6 – 21,0 m p.p.t). Te utwory geologiczne powodują w tym miejscu zmianę wielkości drgań podłoża.

Rozpatrując rejestracje z ostatniego badanego stanowiska (Rys. 5) określono, iż nie występuje tu amplifikacja lub jest ona znikoma. Nie możliwe było określenie jednego dominującego piku amplifikacji, jedynie w okolicach częstotliwości 4 Hz zaobserwowano większe wartości stosunku H/V. Cały przebieg zależności H/V jest ewidentnie liniowy co informuje nas o prostej budowie geologicznej warstwy przypowierzchniowej w miejscu rejestracji. Potwierdziło to się w analizie profilu geologicznego ukazującego gliny do głębokości 13 metrów pod poziomem terenu. Występowanie tu w czwartorzędzie jedynie jednego utworu geologicznego powoduje, iż nie obserwujemy żadnej amplifikacji drgań. Utwory geologiczne poniżej czwartorzędu reprezentowane są przez dolomity (13,0 – 62,2 m), margle (62,2 – 67,2 m), iły (67,2 – 159,0 m), piaski (159,0 –

171,8 m) oraz ponownie iły (171,8 – 185,3 m) jednak utwory te nie wpływają na wielkość drgań mierzonych na powierzchni.



**Rys.4** Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S<sub>3</sub>.



**Rys.5** Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S<sub>4</sub>.

### Wnioski

- 1) Analiza wyznaczonych zależności H/V względem częstotliwości dla poszczególnych stanowisk wykazała, iż występuje w rejonie wyraźna amplifikacja drgań.

- 2) W związku z tym, że ten efekt może wpływać na występowanie zniszczeń pod wpływem wstrząsów górniczych należy to zjawisko poddać bardziej szczegółowym badaniom.
- 3) Wyznaczone wielkości amplifikacji drgań zostały skorelowane z budową geologiczną w miejscu rejestracji co potwierdziło ich wzajemną zależność.
- 4) Wykorzystana metoda HVSR do wyznaczania współczynnika amplifikacji jest prosta w zastosowaniu, daje dobre rezultaty i nie wymaga dużych nakładów finansowych.

### **Podsumowanie**

W artykule podjęto próbę określenia wpływu budowy geologicznej na wielkość wzmocnienia drgań gruntu. Określono wielkość amplifikacji za pomocą metody HVSR określając dodatkowo częstotliwość rezonansową warstw przypowierzchniowych. Otrzymane rezultaty porównano z budową geologiczną w miejscu posadowienia rejestratorów. Efektem pracy są wyniki uzupełniające wcześniejszą badania wykonaną na tych obszarach. Pomimo problemów z wyznaczeniem dominujących pików zależności H/V dla poszczególnych stanowisk analiza za pomocą metody HVSR daje dobre rezultaty a wyniki otrzymane dobrze korelują się z budową geologiczną.

### **Literatura**

- [1] Konno, K. & Ohmachi, T. (1998): Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal to vertical components of microtremor. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 88, ss. 228–241.
- [2] Lachet, C., & Bard, P.-Y. (1994): Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique. *J. Phys. Earth* 42.
- [3] Markowski, E., Kornowski, J. & Zuberek, W.M. (2002): „Podsumowanie i analiza wyników powierzchniowych obserwacji przyspieszeń pochodzących od wstrząsów górniczych z zakładów górniczych zrzeszonych w Bytomskiej Spółce Węglowej S.A. za okres 1998-2000”. Sosnowiec.
- [4] Nakamura, Y. (1989): A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface. *QR RTRI*, 30, ss. 25–33.
- [5] Nakamura, Y. (2000): Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. *Proceedings 12WCEE*.
- [6] Okamoto, S. (1984): *Introductions to Earthquake Engineering*. University of Tokyo Press, Tokyo.
- [7] Tsuboi, S., Saito, M. & Ishihara, Y. (2001): Verification of horizontal-to-vertical spectral-ratio technique for estimation of site response using borehole seismographs. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 91, 499–510.